

## 明 細 書

半導体レーザ素子、半導体レーザモジュールおよびその製造方法ならびに光ファイバ増幅器

5

### 技術分野

この発明は、半導体レーザ素子、半導体レーザモジュールおよびその製造方法ならびにその半導体レーザモジュールを用いた光ファイバ増幅器に関し、特に、  
2つのレーザ光を出射させる2つのストライプ構造を備えた半導体レーザ素子、  
10 半導体レーザモジュールおよびその製造方法ならびに光ファイバ増幅器に関するものである。

### 背景技術

近年における高密度波長分割多重伝送方式による光通信の進展に伴い、光ファイバ増幅器に使用される励起光源に対する高出力化の要求が益々高まっている。

また、最近では、光ファイバ増幅器として従来から使用されてきたエルビウムドープ光ファイバ増幅器よりも、更に広帯域の光を増幅する手段としてラマン増幅器に対する期待が高まっている。ラマン増幅は、光ファイバに励起光を入射したときに発生する誘導ラマン散乱によって、励起光波長から約13THz低周波  
20 側に利得が現れ、このように励起された状態の光ファイバに、上記利得を有する波長帯域の信号光を入力すると、その信号光が増幅されるという現象を利用した光信号の増幅方法である。

ラマン増幅においては、信号光と励起光（ポンプ光）の偏波方向が一致している状態で信号光が増幅されるので、信号光と励起光との偏波面のずれの影響を極力小さくする必要がある。そのため、励起光の偏波を解消（非偏光化：デポラライズ）して、偏光度（DOP:Degree Of Polarization）を低減させることが行われている。

このように、励起光源の高出力化および無偏光化を同時に実現する方法として、たとえば米国特許第5 5 8 9 6 8 4号公報に開示されているように、同一波長で発振する2つの半導体レーザモジュールから出力されたレーザ光を偏波合成カプラによって偏波合成する方法が知られている。

5 第21図は、米国特許第5 5 8 9 6 8 4号公報に開示された半導体レーザ装置を説明するための説明図である。第21図に示すように、従来の半導体レーザ装置は、同一波長で互いに直交する方向にレーザ光を出射する第1の半導体レーザ素子60および第2の半導体レーザ素子61と、第1の半導体レーザ素子60から出射されたレーザ光を平行にする第1の平行レンズ62と、第2の半導体レーザ素子61から出射されたレーザ光を平行にする第1の平行レンズ63と、第1の平行レンズ62および第2の平行レンズ63によって平行になったレーザ光を直交偏波合成する偏波合成カプラ64と、偏波合成カプラ64によって偏波合成されたレーザ光を集光する集光レンズ65と、集光レンズ65によって集光されたレーザ光が入射され外部に送出するファイバグレーティング66付き光ファイバ67とを有する。

従来の半導体レーザ装置によれば、第1の半導体レーザ素子60および第2の半導体レーザ素子61から互いに直交する方向に出射されたレーザ光が偏波合成カプラ64によって偏波合成されるので、光ファイバ67からは偏光度の小さいレーザ光を出力することができる。また、光ファイバ67にファイバグレーティング66が形成されているので、半導体レーザ素子60、61の発振波長が同一波長に固定され、光ファイバ67から波長が固定されたレーザ光を出力することができる。

従って、上記の従来の半導体レーザ装置は、高い光出力が要求される光ファイバ増幅器の励起光源、とりわけ低偏波依存性および波長安定性が要求されるラマン増幅器の励起光源として適用することが可能である。

しかし、従来の半導体レーザ装置では、2個の半導体レーザ素子60、61をそれぞれ取り付けた2個のチップキャリアを基台上に半田付けして配置する必要

がある。このとき、2個の半導体レーザ素子60、61から出射されるレーザ光が互いに直交するように位置決めする必要があるため、半導体レーザ素子の位置決め時間が長くなる。その結果、半導体レーザモジュールの製造時間が長くなる。

- 5 また、各半導体レーザ素子60、61からの出射光が互いに全く異方向に出力されるため、高温状態において、各方向において生じるパッケージの反り等の影響によって、光ファイバから出力される光の光強度および偏光度を安定化させることが困難である。

#### 発明の開示

- 10 本発明は、2つのレーザ光を出射させる2つのストライプを備えた半導体レーザ素子を用い、半導体レーザ素子の位置決め時間およびレンズの調芯時間を短くするとともに、半導体レーザモジュールから出力されるレーザ光の光強度および偏光度の安定化を図ることができる半導体レーザ素子、半導体レーザモジュールおよびその製造方法ならびに光ファイバ増幅器を提供することを目的としている。

- 15 本発明にかかる半導体レーザ素子は、半導体基板の一部領域上に積層された第1の活性層を有し、第1のレーザ光を出射する第1のストライプと、前記半導体基板の他の領域上に積層された第2の活性層を有し、第2のレーザ光を出射する第2のストライプとを備え、前記第1のストライプと前記第2のストライプとの中心線間距離は10～100 $\mu$ mであることを特徴とする。

- 20 つぎの発明にかかる半導体レーザ素子は、上記の発明において、前記第1のストライプと前記第2のストライプとは、互いに平行に延びて形成されていることを特徴とする。

- つぎの発明にかかる半導体レーザ素子は、上記の発明において、前記第1のストライプと前記第2のストライプとの内側側面間距離は、5 $\mu$ m以上であることを特徴とする。

25 つぎの発明にかかる半導体レーザ素子は、上記の発明において、前記第1の活性層および前記第2の活性層の上部に形成された第1の電極と、前記半導体基板

の下部に形成された第2の電極と、少なくとも一部がCVDダイヤモンドによって形成されたヒートシンクとを備え、前記第1の電極あるいは前記第2の電極は、前記ヒートシンクの前記CVDダイヤモンドに接合されることを特徴とする。

つぎの発明にかかる半導体レーザ素子は、上記の発明において、前記第1のレーザ光および前記第2のレーザ光の波長は、略1200nm～略1600nmであることを特徴とする。

本発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記に記載された半導体レーザ素子と、前記半導体レーザ素子から出射された前記第1のレーザ光と第2のレーザ光とが入射され、前記第1のレーザ光と第2のレーザ光との間隔を広げるように分離させる第1レンズと、前記第1レンズを通過した前記第1のレーザ光と前記第2のレーザ光のいずれか一方のみが入射され、入射されたレーザ光の偏波面を所定の角度回転させる偏光回転手段と、前記第1レンズまたは偏光回転手段からの前記第1のレーザ光が入射される第1のポートと、前記偏光回転手段または第1レンズからの前記第2のレーザ光が入射される第2のポートと、前記第1のポートから入射される第1のレーザ光と前記第2ポートから入射される第2のレーザ光とが合波されて出射される第3のポートとを有する偏波合成手段と、前記偏波合成手段の前記第3のポートから出射されるレーザ光を受光し、外部に送出する光ファイバとを備えたことを特徴とする。

つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記第1レンズは、前記第1のストライプから出射された第1のレーザ光の光軸と前記第2のストライプから出射された第2のレーザ光の光軸とが、前記第1レンズの中心軸を挟んで略対称になるように位置決めされることを特徴とする。

つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記偏波合成手段は、前記第1のポートから入射した第1のレーザ光と前記第2のポートから入射した第2のレーザ光のいずれか一方を常光線として前記第3のポートに伝搬させるとともに、他方を異常光線として前記第3のポートに伝搬させる複屈折素子であることを特徴とする。

つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記常光線が光ファイバの軸線方向に伝搬するように、前記偏波合成手段の第1のポートと第2のポートが形成されている各々の面が傾斜して形成されていることを特徴とする。

- 5 つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記常光線が光ファイバの軸線方向に伝搬するように、前記半導体レーザ素子および第1レンズは、前記軸線方向に対して所定角度傾斜して配置されることを特徴とする。

- 10 つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記偏光回転手段および偏波合成手段は、同一のホルダ部材に固定されていることを特徴とする。

- 15 つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記第1レンズと前記偏波合成手段との間には、第1のレーザ光および第2のレーザ光を入射し、互いの光軸を略平行にして出射するプリズムが配設されていることを特徴とする。

つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記プリズム、前記偏光回転手段および偏波合成手段は、同一のホルダ部材に固定されていることを特徴とする。

- 20 つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記偏波合成手段と前記光ファイバとの間に配置され、前記偏波合成手段の第3のポートから出射されるレーザ光を前記光ファイバに光結合させる第2レンズを有することを特徴とする。

- 25 つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記第1のレーザ光および第2のレーザ光が、前記第1レンズと前記第2レンズとの間で焦点を結ぶように前記第1レンズが位置決めされていることを特徴とする。

つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、所定の波長の光を半導体レーザ素子に帰還させる光反射部が設けられていることを特徴

とする。

つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記光反射部は、前記光ファイバに形成されたファイバグレーティングであることを特徴とする。

- 5 つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記半導体レーザ素子を冷却する冷却装置と、前記冷却装置上に固定され、前記半導体レーザ素子を載置する基台とを有し、前記第1レンズ、前記偏光回転手段および偏波合成手段は、前記基台上に固定されていることを特徴とする。

- 10 つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記基台は、前記半導体レーザ素子を固定する第1の基台と、前記第1の基台上に固定され、前記第1レンズ、前記偏光回転手段および偏光合成手段を固定する第2の基台とからなることを特徴とする。

- 本発明にかかる半導体レーザモジュールの製造方法は、上記に記載された半導体レーザモジュールの製造方法において、前記半導体レーザ素子を基台上に固定  
15 する第1の工程と、前記半導体レーザ素子からレーザ光を出射した状態で、前記第1レンズを調芯して前記基台上に固定する第2の工程と、前記半導体レーザ素子からレーザ光を出射した状態で、前記偏光回転手段を調芯して前記基台上に固定する第3の工程と、前記半導体レーザ素子からレーザ光を出射した状態で、前記偏波合成手段を調芯して前記基台上に固定する第4の工程と、前記半導体レー  
20 ザ素子からレーザ光を出射した状態で、前記光ファイバを調芯して固定する第5の工程とを含むことを特徴とする。

- つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールの製造方法は、上記の発明において、前記偏光回転手段および偏波合成手段は、同一のホルダ部材に固定されており、前記ホルダ部材を調芯することによって、前記第3の工程と前記第4の工程  
25 とを同時に行うことを特徴とする。

つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールの製造方法は、上記の発明において、前記第1レンズと前記偏波合成手段との間には、第1のレーザ光および第2

のレーザ光を入射し、互いの光軸を略平行にして出射するプリズムが配設され、前記プリズム、前記偏光回転手段および偏波合成手段は、同一のホルダ部材に固定されており、前記ホルダ部材を調芯することによって、前記第3の工程と前記第4の工程とを同時に行うことを特徴とする。

- 5 つぎの発明にかかる半導体レーザモジュールの製造方法は、上記の発明において、前記ホルダ部材の調芯は、前記半導体レーザ素子の第1のストライプおよび第2のストライプの双方からレーザ光を出射させる工程と、前記第1のストライプから出射される第1のレーザ光を前記偏波合成手段の第1のポートに入射させるとともに前記第2のストライプから出射される第2のレーザ光を前記偏波合成手段の第2のポートに入射させる工程と、前記ホルダ部材を中心軸の周りに回転させて前記第1のポートに入射した前記第1のレーザ光と第2のポートに入射した第2のレーザ光とがともに第3のポートから出射されるように位置調整する工程と、前記位置調整する工程後に前記ホルダ部材の前記中心軸周りの位置を固定する工程とを含むことを特徴とする。
- 10
- 15 本発明にかかる光ファイバ増幅器は、上記に記載の半導体レーザモジュールと、信号光が伝送される光ファイバとを有し、前記半導体レーザモジュールから出射される励起光と前記光ファイバに伝送される信号光とを合波して前記信号光に利得を与えることを特徴とする。

- この発明の他の目的及び特徴は添付図面を参照して、以下の記載から理解されるであろう。
- 20

#### 図面の簡単な説明

- 第1図は、この発明の実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す側面断面図であり、第2図は、この発明の実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールの構成を模式化して示す説明図であり、第3図Aは、プリズムの構成を示す側面図であり、第3図Bは、その平面図であり、第4図Aは、プリズム、半波長板および偏波合成部材を固定するホルダを示す平面図であり、第4図Bは、
- 25

その側面断面図であり、第4図Cは、その正面図であり、第5図AおよびBは、第1レンズの調芯工程を説明するための説明図であり、第6図AおよびBは、半導体レーザ素子の構成を説明するための説明図であり、第7図は、第6図に示したWストライプ構造の半導体レーザ素子と1つのストライプ構造の半導体レーザ素子との駆動電流に対する光出力特性および駆動電圧特性とを示す図であり、第8図は、第6図に示したWストライプ構造の半導体レーザ素子と1つのストライプ構造の半導体レーザ素子との駆動電流に対する波長変化特性を示す図であり、第9図は、半導体レーザ素子の他の構成を示す断面図であり、第10図は、半導体レーザ素子の他の構成を示す断面図であり、第11図は、CVDダイヤモンドをヒートシンクとして用いた場合における半導体レーザ素子近傍の構成を示す斜視図であり、第12図は、CVDダイヤモンドを用いた場合と用いない場合とにおける活性層温度の違いを示す図であり、第13図は、第1のストライプと第2のストライプとの距離関係を示す説明図であり、第14図は、活性層間の距離に対する活性層の温度変化を示す図であり、第15図は、半導体レーザモジュールの外観とモジュールサイズを説明する図であり、第16図は、活性層間の距離に対するモジュールサイズの変化を示す図であり、第17図は、この発明の実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールの構成を模式化して示す説明図であり、第18図は、この発明の実施の形態3にかかる半導体レーザモジュールの構成を模式化して示す説明図であり、第19図は、この発明の実施の形態4にかかる光ファイバ増幅器の構成を示すブロック図であり、第20図は、半導体レーザ素子の2本のストライプが互いに傾斜して形成された場合を示す図であり、第21図は、米国特許第5589684号公報に開示された半導体レーザ装置を説明するための説明図である。

## 25 発明を実施するための最良の形態

以下に図面を参照して、この発明にかかる半導体レーザ素子、半導体レーザモジュールおよびその製造方法ならびに光ファイバ増幅器の好適な実施の形態につ



いて説明する。

まず、この発明の実施の形態1について説明する。第1図は、実施の形態5にかか  
る半導体レーザモジュールの構成を示す断面図であり、第2図はこの発明の  
実施の形態1にかか  
る半導体レーザモジュールの構成を模式化して示す説明図で  
ある。

第1図に示すように、この実施の形態1にかか  
る半導体レーザモジュールM1は、内部を気密封止したパッケージ1と、そのパッケージ1内に設けられ、レー  
ザ光を出射する半導体レーザ素子2と、フォトダイオード3と、第1レンズ4と、  
プリズム5と、半波長板（偏光回転手段）6と、偏波合成部材（PBC：Polarization Beam Combiner）7と、光ファイバ8とを有する。

半導体レーザ素子2は、第2図に示すように、間隔を隔てて長手方向に互いに  
同一平面上に平行に形成された第1のストライプ9及び第2のストライプ10を  
有し、第1のストライプ9及び第2のストライプ10の端面からそれぞれ第1の  
レーザ光K1及び第2のレーザ光K2を出射する。第2図中に示すK1、K2は、  
それぞれ第1のストライプ9及び第2のストライプ10から出射されるビームの  
中心の軌跡を示す。ビームは、第2図に破線で示すように、この中心のまわりに、  
ある広がりをもって伝搬する。第1のストライプ9と第2のストライプ10との  
間隔は、例えば約40μm程度である。

半導体レーザ素子2はチップキャリア11上に固定して取り付けられる。なお、  
半導体レーザ素子2は、ヒートシンク（図示せず）上に固定して取り付けられ、  
そのヒートシンクがチップキャリア11上に固定して取り付けられていてもよい。

フォトダイオード3は、半導体レーザ素子2の後側（第1図では左側）端面2bから出射されたモニタ用のレーザ光を受光する。フォトダイオード3は、フォトダイオードキャリア12に固定して取り付けられている。

第1レンズ4は、半導体レーザ素子2の前側（第1図では右側）端面2aから出射された第1のレーザ光K1と第2のレーザ光K2とが入射され、第1のレーザ光K1と第2のレーザ光K2との間隔を広げるように、それぞれの光を異なる

焦点位置（F 1， F 2）に集光させる作用をもつ。

第1レンズ4は、第1のレンズ保持部材13によって保持されている。第1レンズ4は、第1のストライプ9から出射された第1のレーザ光K1の光軸と第2のストライプ10から出射された第2のレーザ光K2の光軸とが、第1レンズ4  
5 の中心軸を挟んで略対称になるように位置決めされるのが好ましい。これによって、第1のレーザ光K1及び第2のレーザ光K2が、ともに収差の小さい領域である第1レンズ4の中心軸近傍を通過するため、レーザ光の波面の乱れがなくなり、光ファイバ8との光結合効率が高くなる。その結果、より高出力の半導体レーザモジュールM1が得られる。なお、球面収差の影響を抑えるためには、第1  
10 レンズ4は、球面収差が小さく光ファイバ8との結合効率が高くなる非球面レンズを用いるのが好ましい。

プリズム5は、第1レンズ4と偏波合成部材7との間に配設され、入射された第1のレーザ光K1及び第2のレーザ光K2を、互いの光軸を略平行にして出射する。プリズム5は、BX7（ホウケイ酸クラウンガラス）等の光学ガラスで作  
15 られている。第1レンズ4から非平行に伝搬する第1及び第2のレーザ光K1，K2の光軸が、プリズム5の屈折により、平行とされるため、このプリズム5の後方に配置される偏波合成部材7の作製が容易になるとともに、偏波合成部材7を小型化し半導体レーザモジュールM1を小型にすることが可能となる。

第3図Aはプリズム5の構成を示す側面図であり、第3図Bはその平面図である。第3図に示すように、プリズム5は、平坦状に形成された入射面5aと、所  
20 定角度 $\theta$ に傾斜した出射面5bとを有する。たとえば、プリズム5がBK7で作製され、半導体レーザ素子2の各ストライプ9，10間の間隔が $40\mu\text{m}$ で、焦点距離 $0.7\text{mm}$ の第1レンズ4を使用する場合には、プリズム5の全長L1は約 $1.0\text{mm}$ となり、所定角度 $\theta$ は $3.2\pm0.1^\circ$ となる。

25 半波長板6は、プリズム5を通過した第1のレーザ光K1と第2のレーザ光K2のうち、第1のレーザ光K1のみが入射され、入射された第1のレーザ光K1の偏波面を90度回転させる。

偏波合成部材7は、第1のレーザ光K1が入射される第1のポート7aと、第2のレーザ光K2が入射される第2のポート7bと、第1のポート7aから入射される第1のレーザ光K1と第2のポート7bから入射される第2のレーザ光K2とが合波されて出射される第3のポート7cとを有する。偏波合成部材7は、  
5 例えば、第1のレーザ光K1を常光線として第3のポート7cに伝搬させるとともに、第2のレーザ光K2を異常光線として第3のポート7cに伝搬させる複屈折素子である。偏波合成部材7が複屈折素子の場合、複屈折率性が高くレーザ光間の分離幅を大きくとれるように、例えばTiO<sub>2</sub>（ルチル）で作られる。

この実施の形態1においてはプリズム5、半波長板6及び偏波合成部材7は、  
10 同一のホルダ部材14に固定されている。第4図Aはプリズム5、半波長板6及び偏波合成部材7を固定するホルダ部材14を示す平面図であり、第4図Bはその側面断面図であり、第4図Cはその正面図である。第4図に示すように、ホルダ部材14は、YAGレーザ溶接が可能な材料（例えばSUS403、304等）で作られ、その全長L2は約7.0mmであり、全体が略円柱状に形成されている。  
15 いる。ホルダ部材14の内部に収容部14aが形成され、その収容部14aにプリズム5、半波長板6及び偏波合成部材7がそれぞれ固定される。ホルダ部材14の上部は開口され、その下部は平坦状に形成されている。

これによって、偏波合成部材7の第1のポート7aから入射する第1のレーザ光K1及び第2のポート7bから入射する第2のレーザ光K2をともに第3のポート7cから出射するように、プリズム5、偏波合成部材7の中心軸C1周りの位置を調整することが非常に容易になる。  
20

光ファイバ8は、偏波合成部材7の第3のポート7cから出射されるレーザ光を受光し外部に送出する。光ファイバ8には、第2図に示すように、所定の波長帯の光を反射するファイバグレーティングからなる光反射部15が設けられている。  
25 いる。この光反射部15によって、所定波長の光が半導体レーザ素子2に帰還され、半導体レーザ素子2の発振波長が固定されるとともに、発振スペクトル幅を狭くすることができる。従って、この半導体レーザモジュールM1からの出力光を、

波長合成カプラ（WDM）により合波して、エルビウムドープ光ファイバ増幅器やラマン増幅器の励起光源として用いた場合には、波長合成カプラの損失を低く抑えて高出力の合波光を得ることができるとともに、ラマン増幅器に使用した場合には、ラマン増幅の利得変動を抑えることができる。光反射部15は、例えば  
5 フェーズマスクを介して干渉縞となった紫外光を光ファイバ8のコア部に照射することによって周期的に屈折率の変化を生じさせて形成される。

偏波合成部材7と光ファイバ8との間には、偏波合成部材7の第3のポート7cから出射されるレーザ光を光ファイバ8に光結合させる第2レンズ16が配設されている。第1のレーザ光K1及び第2のレーザ光K2は、第1レンズ4と第  
10 2レンズ16との間で焦点（F1，F2）を結ぶように第1レンズ4が位置合わせされている。これによって、第1レンズ4と焦点（F1，F2）間におけるレーザ光のスポットサイズが小さくなって、両レーザ光の重なりが防止されるので、第1のレーザ光K1の光路上にのみ、半波長板6を挿入できるために十分な第1のレーザ光K1と第2のレーザ光K2との分離幅D'を得るために必要な伝搬距離Lが短くなる。このため、半導体レーザモジュールM1の光軸方向の長さを短くすることができる。その結果、例えば高温環境下における半導体レーザ素子2と光ファイバ8との光結合の経時安定性が優れた、信頼性の高い半導体レーザモ  
15 ジュールM1を提供できる。

半導体レーザ素子2を固定したチップキャリア11と、フォトダイオード3を  
20 固定したフォトダイオードキャリア12とは、断面略L字形状の第1の基台17上に半田付けして固定される。第1の基台17は、半導体レーザ素子2の発熱に対する放熱性を高めるためにCuW系合金等で作られているのが好ましい。

第1レンズ4を固定した第1のレンズ保持部材13と、プリズム5、半波長板6及び偏波合成部材7を固定したホルダ部材14とは、第2の基台18上にそれぞれ第1の支持部材19a及び第2の支持部材19bを介してYAGレーザ溶接により、固定される。このため、第2の基台18は、溶接性の良好なステンレス鋼等で作られているのが好ましい。また、第2の基台18は、第1の基台17の

平坦部 17a 上に銀ろう付けして固定される。

第 1 の基台 17 の下部にはペルチェ素子からなる冷却装置 20 が設けられている。半導体レーザ素子 2 からの発熱による温度上昇はチップキャリア 11 上に設けられたサーミスタ 20a によって検出され、サーミスタ 20a より、検出され  
5 温度が一定温度になるように、冷却装置 20 が制御される。これによって、半導体レーザ素子 2 のレーザ出力を高出力化かつ安定化させることができる。

パッケージ 1 の側部に形成されたフランジ部 1a の内部には、偏波合成部材 7 を通過した光が入射する窓部 1b が設けられ、フランジ部 1a の端面には中間部材 1d が固定されている。中間部材 1d 内にはレーザ光を集光する第 2 レンズ 1  
10 6 を保持する第 2 のレンズ保持部材 21 が YAG レーザ溶接により固定されている。第 2 のレンズ保持部材 21 の端部には金属製のスライドリング 22 が YAG レーザ溶接により固定される。

光ファイバ 8 はフェルルール 23 によって保持され、そのフェルルール 23 は、スライドリング 22 の内部に YAG レーザ溶接により固定されている。

つぎに、実施の形態 1 にかかる半導体レーザモジュール M1 の動作について説明する。半導体レーザ素子 2 の第 1 のストライプ 9 及び第 2 のストライプ 10 の前側端面 2a からそれぞれ出射された第 1 のレーザ光 K1 及び第 2 のレーザ光 K2 は、第 1 レンズ 4 を通過し、交差した後、間隔が広がりプリズム 5 に入射される。プリズム 5 に入射した時の第 1 のレーザ光 K1 と第 2 のレーザ光 K2 との間  
20 隔 (D) は約  $460\text{ }\mu\text{m}$  である。プリズム 5 によって第 1 のレーザ光 K1 と第 2 のレーザ光 K2 は略平行となって出射し (両者の間隔は約  $500\text{ }\mu\text{m}$  になる)、第 1 のレーザ光 K1 は半波長板 6 に入射され、偏波面を 90 度回転させた後、偏波合成部材 7 の第 1 のポート 7a に入射され、第 2 のレーザ光 K2 は偏波合成部材 7 の第 2 のポート 7b に入射される。

25 偏波合成部材 7 では、第 1 のポート 7a から入射される第 1 のレーザ光 K1 と第 2 のポート 7b から入射される第 2 のレーザ光 K2 とが合波されて第 3 のポート 7c から出射される。

偏波合成部材 7 から出射されたレーザ光は、第 2 レンズ 1 6 によって集光され、フェルール 2 3 によって保持された光ファイバ 8 の端面に入射され外部に送出される。また、光ファイバ 8 の光反射部 1 5 によってレーザ光の一部が反射され、反射された光は、半導体レーザ素子 2 に帰還され、半導体レーザ素子 2 と光反射部 1 5 との間で外部共振器が構成されるので、光反射部 1 5 によって決定される波長帯でのレーザ発振が可能となる。

一方、半導体レーザ素子 2 の後側端面 2 b から出射されたモニタ用のレーザ光は、フォトダイオード 3 によって受光され、フォトダイオード 3 の受光量等を算出することにより半導体レーザ素子 2 の光出力等を調整する。

この実施の形態 1 にかかる半導体レーザモジュール M 1 によれば、半導体レーザ素子 2 から第 1 のレーザ光 K 1 及び第 2 のレーザ光 K 2 が出射され、半波長板 6 によって第 1 のレーザ光 K 1 の偏光面が 9 0 度回転し、偏波合波部材 7 によって第 1 のレーザ光 K 1 と第 2 のレーザ光 K 2 が偏波合成されるので、光ファイバ 8 からは高出力で、かつ偏光度の小さいレーザ光を出力することができる。また、光ファイバ 8 にファイバグレーティングからなる光反射部 1 5 が形成されているので、光ファイバ 8 から波長が固定されたレーザ光を出力することができる。従って、上記の半導体レーザモジュール M 1 を、高出力が要求されるエルビウムドープ光ファイバ増幅器や、さらに低偏波依存性及び波長安定性が要求されるラマン増幅器の励起光源として適用することができる。

また、2 つのレーザ光を出射させる 2 つのストライプを備えた 1 個の半導体レーザ素子 2 だけを用いているので、半導体レーザ素子 2 の位置決め時間が短くなる。その結果、半導体レーザモジュール M 1 の製造時間を短縮化できる。

また、従来は 2 つの半導体レーザ素子からそれぞれ全く異なる軸方向に光が出射されるため、そのそれぞれの軸方向でのパッケージの反り等を考慮して半導体レーザモジュールを設計しなければ、環境温度の変化等によって生じたパッケージの反りによる光出力変動を抑制できなかったが、この実施の形態 1 の構成によれば、1 個の半導体レーザ素子から出力される 2 つの光はほぼ同じ方向に伝搬さ

れるため、パッケージの反りの影響を1方向においてのみ抑制することにより、光ファイバ8から出力される光の強度の安定化を図ることができる。

また、1個の半導体レーザ素子から2つの光を出力することにより、これら2つの光はパッケージの反り等に対して、光ファイバ8との結合効率が同じ傾向で変動する。従って、温度変動等があった場合でも光ファイバ8から出力される光の偏光度が安定化する。

つぎに、この発明の実施の形態1にかかる半導体レーザモジュールM1の製造方法について説明する。まず、第1の基台17の平坦部17a上に第2の基台18を銀ろう付けして固定する。

その後、半導体レーザ素子2を固定したチップキャリア11と、フォトダイオード3を固定したフォトダイオードキャリア12を第1の基台17上に半田付けして固定する。

その後、第2の基台18上に第1レンズ4を調芯して固定する。この第1レンズ4の調芯工程では、半導体レーザ素子2に電流を供給して第1のレーザ光K1及び第2のレーザ光K2を半導体レーザ素子2の第1のストライプ9及び第2のストライプ10の双方から出射させ、その出射方向を基準方向として設定した後、第1レンズ4を挿入し、XYZ軸方向の位置を決める。

第5図は、第1レンズの調芯工程を説明するための説明図である。X軸方向については、第5図Aに示すように、上記のようにして設定された基準方向（中心軸C2）と第1のレーザ光K1との角度 $\theta 1$ と、中心軸C2と第2のレーザ光K2との角度 $\theta 2$ とが等しくなる位置で決める。Y軸方向については、第5図Bに示すように、第1のレーザ光K1及び第2のレーザ光K2が第1レンズ4の中心を通る位置で決める。Z軸については、半導体レーザ素子2からの規定の距離で、レーザ光のスポット径が最小となる位置で決める。以上の調芯工程で決まった位置で第1レンズ4を保持する第1のレンズ保持部材13を、第2の基台18上に第1の支持部材19aを介してYAGレーザ溶接して固定する。

その後、第2の基台18上に、プリズム5、半波長板6、偏波合成部材7を一

- 体化したホルダ部材 1 4 を調芯して固定する。このホルダ部材 1 4 の調芯工程では、位置合わせ用光ファイバコリメータを用いて、そのファイバに結合する光強度が最大になるように、ホルダ部材 1 4 の中心軸 C 1 （第 4 図参照）回り  $\theta$ 、XYZ 軸方向の位置を決める。ホルダ部材 1 4 の中心軸 C 1 回りの位置決めでは、
- 5   ホルダ部材 1 4 を中心軸 C 1 の周りに回転させて第 1 のポート 7 a に入射した第 1 のレーザ光 K 1 と第 2 のポート 7 b に入射した第 2 のレーザ光 K 2 がともに第 3 のポート 7 c から出射されるように位置調整する。以上の調芯工程で決まった位置でホルダ部材 1 4 を第 2 の基台 1 8 上に第 2 の支持部材 1 9 b を介して YAG レーザ溶接して固定する。
- 10   その後、第 1 の基台 1 7 を、予めパッケージ 1 の底板上に固定された冷却装置 2 0 上に半田付けして固定する。
- その後、半導体レーザ素子 2 およびモニタ用のフォトダイオード 3 は、金ワイヤ（図示せず）を介してパッケージ 1 のリード（図示せず）と電氣的に接続される。
- 15   その後、不活性ガス（例えば  $N_2$ 、 $Xe$ ）雰囲気においてパッケージ 1 上部に蓋 1 c を被せて、その周縁部を抵抗溶接することにより気密封止する。
- その後、パッケージ 1 のフランジ部 1 a に対し、第 2 レンズ 1 6 を XY 面内および Z 軸方向で調芯して固定する。この工程では、第 2 レンズ 1 6 の出射光がパッケージ 1 のフランジ部 1 a の中心軸と平行となる位置で YAG レーザ溶接により
- 20   固定する。
- 最後に、光ファイバ 8 を調芯して固定する。この工程では、第 2 のレンズ保持部材 2 1 の端部に金属製のスライドリング 2 2 を固定する。スライドリング 2 2 は、第 2 のレンズ保持部材 2 1 の端面において、光ファイバ 8 の光軸と垂直な面内（XY 平面）で位置調整後、両者の境界部において YAG レーザ溶接して固定
- 25   される。光ファイバ 8 を保持するフェルルール 2 3 は、光ファイバ 8 の出力が最大となる位置で、スライドリング 2 2 の内部に YAG レーザ溶接により固定される。これにより、光ファイバ 8 の光軸方向（Z 軸方向）の位置が固定される。



ここで、この実施の形態 1 の半導体レーザモジュールに使用される半導体レーザ素子 2 について説明する。第 6 図は、この発明の実施の形態 1 である半導体レーザモジュールに使用される半導体レーザ素子 2 の構成を説明するための説明図である。なお、第 6 図 B は、第 6 図 A の a-a 線断面図である。

5 第 6 図 A に示すように、半導体レーザ素子 2 は、例えば有機金属気相成長法、液相法、分子線エピタキシャル成長法、ガスソース分子線エピタキシャル成長法等の公知のエピタキシャル成長法により、所定の半導体からなる基板 24 の上に、所定の半導体のエピタキシャル結晶成長を行って、後述する積層構造 25 を形成した後、基板 24 の底面に下部電極 26、積層構造 25 の上面に上部電極 27 を  
10 形成し、劈開を行って所定の共振器長 L3 とし、さらに一方の劈開面（前端面 2a）に低反射膜 28 を成膜し、他方の劈開面（後端面 2b）に高反射膜 29 を成膜した構造となっている。

第 6 図 B に示すように、基板 24 上の積層構造 25 は、例えば埋め込み型 BH (Buried Heterostructure) 構造になっていて、例えば n-InP から成る基板  
15 24 の上に、例えば n-InP から成る下部クラッド層 31、例えば GaInAsP の多層膜からなる GRIN-SCH-MQW (Graded Index Separate Confinement Heterostructure Multi Quantum Well) 構造を有する活性層 32、例えば p-InP からなる上部クラッド層 33 が順次積層されており、さらに、上部クラッド層 33 の上に、例えば p-InP からなる上部埋め込み層 34、例  
20 えば p-GaInAsP からなるキャップ層 35 が積層されている。そして、このキャップ層 35 の上に上部電極 27 が形成され、また基板 24 の底面には下部電極 26 が形成されている。

そして、上記した下部クラッド層 31、活性層 32、上部クラッド層 33 は、  
40~60 μm の間隔を介して互いに平行に並んだ 2 本のストライプ（第 1 のス  
25 トライプ 9 および第 2 のストライプ 10）状に加工され、その側面に例えば p-InP 層 36 と n-InP 層 37 をこの順序で積層することにより、活性層 32 への電流注入用の狭窄部が形成されている。

上記した活性層 3 2 としては、例えば、基板 2 4 に対する格子不整合率が 0.5 % 以上 1.5 % 以下となるような圧縮歪み量子井戸構造を採用し、かつ井戸数が 5 個程度の多重量子井戸構造を使用するのが、高出力化の観点から有利である。また、歪み量子井戸構造として、その障壁層を井戸層の歪みと反対の引っ張り歪みを導入してなる歪み補償構造とすれば、等価的に格子整合条件を満たすことができるため、井戸層の格子不整合度に関しては上限を設けることは必要でない。また、上記ストライプ状に形成される活性層 3 2 の幅は、電気抵抗を下げ、かつ横シングルモードで発振させるという観点から、2.5 ~ 3  $\mu\text{m}$  程度とした。また、横高次モードをカットオフし、シングルモードをカットオフする活性層の幅は、導波路の設計によって変化するが、高出力化の観点からは、カットオフ幅に比してやや小さい値のストライプ幅を形成するのが好ましい。

つぎに、上記の構造の半導体レーザ素子 2 の製造方法について説明する。まず、有機金属気相成長法、液相法、分子線エピタキシャル成長法、ガスソース分子線エピタキシャル成長法等の公知のエピタキシャル成長法により、基板 2 4 上に、下部クラッド層 3 1、GRIN-SCH-MQW 構造を有する活性層 3 2、上部クラッド層 3 3 の順に積層する。

その後、40 ~ 60  $\mu\text{m}$  の間隔を介して互いに平行に並んだ 2 本のマスクを上記上部クラッド層 3 3 上に形成してから、所定のエッチャントを用いて上部クラッド層 3 3、活性層 3 2、及び下部クラッド層 3 1 の一部を溶解し、上記ストライプ側部にさらに、p-InP 層 3 6 と n-InP 層 3 7 をこの順序で積層することによって、活性層 3 2 への電流注入用の狭窄部を形成する。

その後、p-InP から成る上部埋め込み層 3 4 と p-InGaAsP からなるキャップ層 3 5 をエピタキシャル成長させて積層する。

その後、キャップ層 3 5 の上面に上部電極 2 7 を形成し、基板 2 4 の底面に下部電極 2 6 を形成する。

その後、劈開を行って所定の共振器長  $L_3$  とし、さらに一方の劈開面（前端面 2 a）に低反射膜 2 8 を成膜し、他方の劈開面（後端面 2 b）に高反射膜 2 9 を

成膜する。

このようにして作製された半導体レーザ素子2は、上部電極27側を、図示しないヒートシンクにAuSn半田等によって接着される。そして、2つのストライプは、上部電極27（この実施の形態1では、p側）および下部電極26（この実施の形態1では、n側）を通して外部より、供給される電流により、同時にレーザ発振し、低反射膜28からの2つの出力光が前述した偏波合成部材7によって合波されて所望の用途に供される。

ここで、2つのストライプ9、10の特性が全く同じであるとする、この実施の形態1にかかる半導体レーザ素子2のしきい値電流は、ストライプ1本のしきい値電流の2倍、全出力は、ストライプ1本の光出力の2倍となる。すなわち、半導体レーザ素子2全体としては、ストライプ1本当たりの駆動電流の約2倍の駆動電流で、約2倍の光出力が得られ、半導体レーザ素子2のスロープ効率は1本のストライプを有する半導体レーザ素子2と変わらない。しかも、各ストライプ9、10のレーザ光は、横シングルモードで発振しているため、後述の光学系を用いてシングルモードファイバへの高い結合効率を得ることができる。

たとえば、第7図は、2つのストライプ9、10を用いたWストライプ構造の半導体レーザ素子2と、ストライプ9、10と同じ1つのストライプを用いた半導体レーザ素子に対する駆動電流に対する光出力と駆動電圧との関係を示した図である。第7図において、1つのストライプを用いた半導体レーザ素子による駆動電流に対する光出力特性 $L_s$ は、駆動電流が1000mA近傍で飽和しているが、Wストライプ構造の半導体レーザ素子2による駆動電流に対する光出力特性 $L_w$ は、駆動電流が2000mA近傍で飽和し、1つのストライプを用いた駆動電流に対する光出力特性 $L_s$ のスロープとほぼ同じスロープを有する。この結果、Wストライプ構造の半導体レーザ素子2は、1つのストライプを用いた半導体レーザ素子に比して2倍の光出力を得ることができる。Wストライプの半導体レーザ素子を用いた半導体レーザモジュールにおいては、駆動電流2400mAにおいて約570mWのファイバ端光出力を、ラマン増幅器で用いられる波長143

0 nm帯において、得ることができた。なお、波長約1200 nm～約1600 nm帯において、約500 mW程度のファイバ端光出力を得ることが可能である。

ここで、Wストライプの半導体レーザ素子2の駆動電流に対する駆動電圧の変化 $V_w$ と、1つのストライプを用いた半導体レーザ素子の駆動電流に対する駆動電圧の変化 $V_s$ とを比較すると、Wストライプの駆動電圧の変化 $V_w$ は、1つのストライプの駆動電圧の変化 $V_s$ のほぼ半分になっている。これは、Wストライプの場合、駆動電流が注入される領域が2倍になるからである。この結果、半導体レーザ素子の駆動電力すなわち駆動電流×駆動電圧に対する光出力の変換効率は、Wストライプの場合、シングルストライプに比して向上する。

また、Wストライプの場合、ストライプ1本当たりの駆動電流は、全電流の1/2である。40～60  $\mu$ mというストライプ間隔を選ぶことによって、両ストライプ間の熱の影響は十分小さく抑えられ、シングルストライプの場合に近い活性層温度が得られる。

レーザ光の発振波長の電流依存性は、主に無効電力による活性層の発熱とこれに伴う屈折率の変化で決まっており、上述したことから、例えば、Wストライプの半導体レーザ素子の駆動電流を100 mAから1000 mAまで上昇させた時の波長変化 $L_{\lambda w}$ の値は、シングルストライプの半導体レーザ素子の駆動電流を50 mAから500 mAまで上昇させた時の波長変化 $L_{\lambda s}$ の値とほぼ同じになり、第8図に示すように波長安定性が約2倍向上することになる。

なお、上記した例では、2つのストライプが同時に駆動される構造を示したが、例えば第9図に示すように、2つのストライプの間に上部電極27から活性層32下部の深さにまで及ぶ分離溝38を形成し、その分離溝38表面を絶縁膜39で被覆することにより、2つのストライプを電氣的に分離することができる。このような半導体レーザ素子2の下部電極26側を、図示しないヒートシンクにAuSn半田等により接着すれば、2つのストライプに供給する駆動電流を独立に制御することも可能となり、光ファイバ8から出力されるレーザ光の偏波面をランダム化することが容易となる。

また、上部電極 27 側を、図示しないヒートシンクに接着して使用する場合には、ヒートシンク側に、上部電極 27 に対応した電極パターンを形成しておくことにより、これら 2 つのストライプを独立に駆動することができる。

また、上記した例では、半導体レーザ素子 2 は、I n P 系の埋め込み型 B H 構造のものを説明したが、例えば第 7 図に示すような G a A s 系のリッジ導波路型の半導体レーザ素子 2 であってもよい。第 10 図に示すように、この半導体レーザ素子 2 は、n - G a A s からなる基板 40 上に、n 型下部クラッド層 41、活性層 42、p 型上部クラッド層 43、絶縁層 44、p - G a A s 層 45 を積層し、2 つのリッジ部が形成されている。絶縁層 44 及び p - G a A s 層 45 上には上部電極 (p 電極) 46 が形成され、基板 40 の底面には下部電極 (n 電極) 47 が形成されている。

ここで、ヒートシンクとして CVD ダイアモンドを用いた構成について説明する。第 11 図は、半導体レーザ素子 2 の近傍を示す斜視図である。第 11 図において、半導体レーザ素子 2 およびサーミスタ 20 a は、CVD ダイアモンド 11 a 上に接着される。さらに、この CVD ダイアモンド 11 a の下部は、A l N によって形成されたヒートシンク 11 b に結合される。さらに、ヒートシンク 11 b の下部には、第 1 の基台 17 に対応し、C u W によって形成されたマウント 17 a が接着される。CVD ダイアモンド 11 a およびヒートシンク 11 b は、チップキャリア 11 に相当し、2 段のヒートシンクを形成する。CVD ダイアモンド 11 a は、高い熱伝導性と絶縁性とを有するため、半導体レーザ素子 2 に発生した熱を効率よく逃がすことができる。

第 12 図は、2 段のヒートシンクのうち、上部ヒートシンクを CVD ダイアモンド 11 a および A l N とした各場合についてサーミスタ 21 a の温度を 25℃ とした場合の活性層 32 およびマウント 17 a 上部の温度を比較した図である。第 12 図において、上部ヒートシンクを CVD ダイアモンドとした場合の半導体レーザ素子「A」の方が、上部ヒートシンクを A l N とした場合の半導体レーザ素子「B」に比して、活性層の温度が約十数度低くなっている。この場合、上述

したように、活性層の温度変化小さい場合、これに伴う屈折率変化が小さくなるため、CVDダイヤモンド11aを用いた半導体レーザ素子「A」は、高い波長安定性を呈することになる。

ここで、第1のストライプ9と第2のストライプ10との間隔について検討する。第13図は、第6図Bと同様に、第6図Aに示した半導体レーザ素子2のa-a線断面図である。第13図において、活性層32の中心線間の距離を「 $W_c$ 」とし、活性層32の横方向の線幅を「 $W_a$ 」とし、活性層32の内側側面間の距離を「 $W_s$ 」とする。ここで、線幅 $W_a$ は、 $2.5 \sim 3 \mu m$ であり、距離 $W_c$ は、 $10 \sim 100 \mu m$ としている。したがって、距離 $W_c$ が $10 \mu m$ の場合、距離 $W_s$ は $7 \sim 7.5 \mu m$ となる。また、この関係は、線幅 $W_a$ との関連において、距離 $W_c$ に対する距離 $W_s$ の比が $0.7 \sim 0.97$ であることを示し、線幅 $W_a$ に対する距離 $W_c$ の比が、 $2 \sim 40$ の範囲であることを示している。

距離 $W_c$ を $10 \sim 100 \mu m$ としたのは、距離 $W_c$ を大きくし過ぎると、半導体レーザ素子4の各ストライプ9、10の中心軸と第1レンズ4と間の距離が大きくなり、第1レンズ4の周縁においてレーザ光がけられることにより、第1レンズ4との結合効率が低下するからである。また、第1レンズ4の周縁部にレーザ光が入射すると、レンズの収差の影響が大きくなり、これによっても結合効率が低下するからである。

一方、距離 $W_c$ を小さくし過ぎると、活性層32を含む各ストライプ9、10の形成が現段階の微細加工技術では困難であり、各ストライプ9、10の所望のリッジ化や埋め込み成長化が困難になるからである。また、各ストライプ9、10から出力されたレーザ光が互いに干渉してしまうことになるからである。さらに、各ストライプ9、10の近接によって、活性層32の発熱が大きくなるからである。

たとえば、第14図は、CVDダイヤモンド11aを用いた半導体レーザ素子2の間隔 $W_c$ の変化に伴う活性層32の温度変化を示す図である。第14図に示すように、間隔 $W_c$ が小さい程、活性層32の温度上昇が大きく、間隔 $W_c$ が4

0～60  $\mu\text{m}$  近傍からほぼ一定した温度、すなわち 38℃ 近傍に収束している。  
なお、第 14 図に示した結果は、周囲温度 25℃、マウント 17a の底面部温度  
を 25℃ に制御している場合である。

さらに、距離  $W_c$  を小さくし過ぎると、半導体レーザモジュール M1 のモジュ  
ールの長さが大きくなる。これは、第 1 レンズ 4 によって各ストライプ 9, 10  
からのレーザ光を分離するための光路長が長くなってしまうからである。第 15  
図は、半導体レーザモジュール M1 の外観図を示している。第 15 図に示す形状  
をもった半導体レーザモジュールのモジュールサイズを第 15 図に示すように蓋  
の長手方向の長さ「 $L_m$ 」として定義すると、距離  $W_c$  の変化によって、モジュ  
ールサイズ  $L_m$  は、第 16 図に示すように変化する。第 16 図において、距離  $W_c$   
が 5  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$  と大きくなるに従って、モジュールサ  
イズ  $L_m$  は、80 mm, 40 mm, 25 mm, 20 mm となり、距離  $W_c$  が 20  
 $\mu\text{m}$  になると、急激にモジュールサイズ  $L_m$  が小さくなり、距離  $W_c$  が 40  $\mu\text{m}$   
～60  $\mu\text{m}$  近傍でモジュールサイズ  $L_m$  が 20  $\mu\text{m}$  近傍に収束する。

したがって、第 14 図に示した活性層温度の距離  $W_c$  依存性および第 16 図に  
示したモジュールサイズの距離  $W_c$  依存性から、距離  $W_c$  は、40  $\mu\text{m}$ ～60  $\mu\text{m}$   
m が好ましい。

また、活性層 32 の内側側面間の距離  $W_s$  は、5  $\mu\text{m}$  以上とすることが好まし  
い。2 つのストライプ間の距離  $W_s$  が小さすぎると、活性層 32 からの分布漏れ  
した横モード発振のレーザ光が互いに干渉してしまうからである。

なお、この実施の形態 1 では、ファブリ・ペロー型の半導体レーザ素子 2 を説  
明したが、活性層 32 に沿ってまたは活性層 32 の近傍に形成された部分的回折  
格子を含む回折格子等の波長選択手段を備えた半導体レーザ素子 2 を用いてもよ  
い。このような半導体レーザ素子 2 を使用すれば、ファイバグレーティング付き  
の光ファイバ 8 を使用しなくても、発振波長の安定化された光出力を得ることが  
可能となる。

つぎに、この発明の実施の形態 2 について説明する。第 17 図は、この発明の

実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールM2の構成を模式化して示す説明図である。第17図に示すように、この実施の形態2では、常光線である第1のレーザ光K1が光ファイバ8の軸線方向に伝搬するように、偏波合成部材7の第1のレーザ光K1及び第2のレーザ光K2の入射面が楔形に傾斜して形成されている。この実施の形態2によれば、常光線である第1のレーザ光K1が光ファイバ8の軸線方向に伝搬するので、半波長板6と第1レンズ4との間にプリズム5を配設する必要がなくなり、構成を簡単にすることができる。

また、半導体レーザモジュールM2の光軸方向の長さを短くできるので、高温状態における光出力特性に対するパッケージの反りの影響を低減できる。

10     なお、この実施の形態2においても、中心軸周りの角度調整を容易にするため、半波長板6と偏波合成部材7とが同一のホルダ部材14に固定されているのが好ましい。

つぎに、この発明の実施の形態3について説明する。第18図は、この発明の実施の形態3にかかる半導体レーザモジュールM3の構成を模式化して示す説明図である。この実施の形態3では、常光線である第1のレーザ光K1が光ファイバ8の軸線方向に伝搬するように、半導体レーザ素子2および第1レンズ4は、軸線方向に対して所定角度傾斜して配置されている。この実施の形態3によれば、常光線である第1のレーザ光K1が光ファイバ8の軸線方向に伝搬するので、半波長板6と第1レンズ4との間にプリズム5を配設する必要がなくなり、構成を簡単にすることができる。また、偏波合成部材7の研磨を片方だけ行えばよいので、実施の形態2に比べ、研磨の簡略化が可能となる。

また、半導体レーザモジュールM3の光軸方向の長さを短くできるので、高温状態における光出力特性に対するパッケージの反りの影響を低減できる。

25     なお、この実施の形態3においても、中心軸周りの角度調整を容易にするため、半波長板6と偏波合成部材7とが同一のホルダ部材14に固定されているのが好ましい。

上述した実施の形態1～3に示した半導体レーザモジュールM1～M3は、高



出力で偏光度が小さく、波長が安定したレーザ光を出力することができるので、エルビウムドープ光ファイバ増幅器やラマン増幅器の励起光源として用いることが可能である。

つぎに、この発明の実施の形態4について説明する。第19図は、この発明の実施の形態4にかかる光ファイバ増幅器の構成を示すブロック図である。第19図に示すように、この発明の実施の形態4にかかる光ファイバ増幅器48は、信号光が入力される入力部49と、信号光が出力される出力部50と、入力部49と出力部50の間で信号光を伝送する光ファイバ（増幅用ファイバ）51と、励起光を発生させる励起光発生部52と、励起光発生部52によって発生された励起光と光ファイバ（増幅用ファイバ）51に伝送される信号光とを合波するWDMカプラ53とを有する。入力部49とWDMカプラ53との間及び出力部50とWDMカプラ53との間には、入力部49から出力部50への方向の信号光だけを透過させる光アイソレータ54がそれぞれ設けられている。

励起光発生部52は、互いに波長帯の異なるレーザ光を出射するこの発明の実施の形態1～3にかかる複数の半導体レーザモジュールMと、半導体レーザモジュールMから出射されたレーザ光を合成するWDMカプラ55とを有する。

半導体レーザモジュールMから出射された励起光は、WDMカプラ55によって合成され、励起光発生部52の出力光となる。

励起光発生部52で発生した励起光は、WDMカプラ53により、光ファイバ51に結合され、一方、入力部49から入力された信号光は、光ファイバ51で励起光と合波されて増幅され、WDMカプラ53を通過し、出力部50から出力される。

この発明は、上述した実施の形態1～4に限定されることなく、特許請求の範囲に記載された技術的事項の範囲内において、種々の変更が可能である。例えば、上述した半導体レーザ素子2の第1のストライプ9と第2のストライプ10は、互いに長手方向に平行して延びて形成されているが、これに限らず、例えば第20図に示すように傾斜して形成されていてもよい。この場合、2本のストライプ

9, 10から出射される2本のレーザ光は、半導体レーザ素子2から短距離で交差するので、第1のレーザ光K1及び第2のレーザ光K2が第1レンズ4を通過後、第1のレーザ光K1の光路上にのみ、半波長板6を挿入できる程度に十分分離する（第2図においてD'が十分大きくなることをいう）ために必要な伝搬距離（第2図におけるL）が短くなるため、半導体レーザモジュールMの光軸方向の長さを短くすることができる。この場合、各ストライプ9, 10間の距離Wcは、最大値と最小値とを有するが、いずれの値も10~100μm程度とすることが好ましい。

また、上述した実施の形態1~4にかかる半導体レーザモジュールMでは、半導体レーザ素子2とホルダ部材14とは同一の冷却装置20によって冷却されているが、別個の冷却装置を用いて、半導体レーザ素子2とホルダ部材14とを独立に温度制御してもよい。

また、偏光回転手段としては、半波長板6を用いることを示したが、例えばファラデー素子を用いて偏光面を回転させてもよい。この場合、ファラデー素子をコイルの内部に配置し、ファラデー素子に印加する磁界強度をコイルに流す電流の大きさによって可変にすれば、レーザの波長のばらつきや、温度のばらつきによる偏光面の回転角のばらつきを、コイルに流す電流の大きさを調整することによって個々に補償することが可能となる。

以上説明したように、この発明によれば、半導体基板の一部領域上に積層された第1の活性層を有し、第1のレーザ光を出射する第1のストライプと、前記半導体基板の他の領域上に積層された第2の活性層を有し、第2のレーザ光を出射する第2のストライプとを備えているので、1つのストライプを有する半導体レーザ素子に比して、略2倍の光出力が得られる光出力特性が得られ、直列抵抗が略1/2になることから、熱発生が抑えられ、活性層の屈折率変化が抑えられ、略2倍の波長安定性を得ることができる。また、駆動電圧を低減できるため、1つのストライプすなわちシングルストライプ型に比して、光出力当たりの消費電力を低減できるとともに、最大光出力を約2倍に向上できる。この際、第1のス

トライブと第2のストライブとの中心線間距離を $100\mu\text{m}$ 以下とすることによって、第1レンズの周縁におけるレーザ光のけられによる結合効率の低下や、レンズの収差の影響による結合効率の低下を抑えることができる。さらに、この中心間距離を $10\mu\text{m}$ 以上とすることによって、活性層の温度上昇が抑えられるので、波長安定性の低下が抑えられ、また、半導体レーザモジュールのサイズの大型化を抑えることができる。また、各ストライブの内側側面間距離を $5\mu\text{m}$ 以上とすることによって、各ストライブ間から分布漏れしたレーザ光の干渉を防ぐことができる。

また、少なくとも一部がダイヤモンドによって形成されたヒートシンク上に半導体レーザ素子を固定することによって、半導体レーザ素子が発生する熱を効率よく逃がすことができ、熱発生による波長安定性の低下を抑えることができる。

さらに、この発明によれば、半導体レーザ素子から第1のレーザ光及び第2のレーザ光が出射され、偏光回転手段によって一方のレーザ光の偏光面が所定角度回転され、偏波合成手段によって第1のレーザ光と第2のレーザ光が偏波合成されるので、光ファイバからは偏光度の小さい高強度のレーザ光を出力することができる。また、光ファイバにファイバグレーティングなどの光反射部が形成されていれば、光ファイバから波長が固定されたレーザ光を出力することができる。従って、上記の半導体レーザモジュールを、高出力特性、低偏波依存性および波長安定性が要求されるエルビウムドープ光ファイバ増幅器やラマン増幅器の励起光源として適用することができる。

また、2つのレーザ光を出射させる2つのストライブを備えた1個の半導体レーザ素子および1個の第1レンズだけを用いているので、半導体レーザ素子および第1レンズの位置決め時間が短くなる。その結果、半導体レーザモジュールの製造時間を短縮化できる。

また、従来は2つの半導体レーザ素子からそれぞれ全く異なる軸方向に光が出射されるため、そのそれぞれの軸方向でのパッケージの反り等を考慮して半導体レーザモジュールを設計しなければ、環境温度の変化等によって生じたパッケー

ジの反りによる光出力変動を抑制できなかったが、この発明によれば、1個の半導体レーザ素子から出力される2つの光は略同じ方向に伝搬されるため、パッケージの反りの影響を1方向においてのみ抑制することにより、光ファイバから出力される光の強度の安定化を図ることができる。

- 5      また、1個の半導体レーザ素子から2つの光を出力することにより、これら2つの光はパッケージの反りに対して、光ファイバとの結合効率が同じ傾向で変動する。従って、温度変動等があった場合でも光ファイバから出力される光の偏光度が安定化する。

本発明を完全かつ明瞭に開示するために特徴的な実施例に関し記載してきた。

- 10      しかし、添付の請求項は、上記実施例に限定されるべきものでなく、本明細書に示した基礎的事項の範囲内で当該技術分野の当業者が創作しうるすべての変形例及び代替可能な構成を具現化するように構成されるべきである。

## 請求の範囲

1. 半導体基板の一部領域上に積層された第1の活性層を有し、第1のレーザ光を出射する第1のストライプと、
- 5 前記半導体基板の他の領域上に積層された第2の活性層を有し、第2のレーザ光を出射する第2のストライプと、
- を備え、
- 前記第1のストライプと前記第2のストライプとの中心線間距離は10～100  $\mu\text{m}$ であることを特徴とする半導体レーザ素子。
- 10
2. 前記第1のストライプと前記第2のストライプとは、互いに平行に延びて形成されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の半導体レーザ素子。
3. 前記第1のストライプと前記第2のストライプとの内側側面間距離は、5  $\mu\text{m}$
- 15 m以上であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の半導体レーザ素子。
4. 前記第1の活性層および前記第2の活性層の上部に形成された第1の電極と、前記半導体基板の下部に形成された第2の電極と、
- 少なくとも一部がダイヤモンドによって形成されたヒートシンクと、
- 20 を備え、前記第1の電極あるいは前記第2の電極は、前記ヒートシンクの前記ダイヤモンドに接合されることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の半導体レーザ素子。
5. 前記第1のレーザ光および前記第2のレーザ光の波長は、略1200 nm～
- 25 略1600 nmであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の半導体レーザ素子。
6. 半導体基板の一部領域上に積層された第1の活性層を有し、第1のレーザ光を出射する第1のストライプと、前記半導体基板の他の領域上に積層された第2

の活性層を有し、第2のレーザ光を出射する第2のストライプと、を備え、前記第1のストライプと前記第2のストライプとの中心線間距離は $10 \sim 100 \mu\text{m}$ である半導体レーザ素子と、

- 5 前記半導体レーザ素子から出射された前記第1のレーザ光と第2のレーザ光とが入射され、前記第1のレーザ光と第2のレーザ光との間隔を広げるように分離させる第1レンズと、

前記第1レンズを通過した前記第1のレーザ光と前記第2のレーザ光のいずれか一方のみが入射され、入射されたレーザ光の偏波面を所定の角度回転させる偏光回転手段と、

- 10 前記第1レンズまたは偏光回転手段からの前記第1のレーザ光が入射される第1のポートと、前記偏光回転手段または第1レンズからの前記第2のレーザ光が入射される第2のポートと、前記第1のポートから入射される第1のレーザ光と前記第2ポートから入射される第2のレーザ光とが合波されて出射される第3のポートとを有する偏波合成手段と、

- 15 前記偏波合成手段の前記第3のポートから出射されるレーザ光を受光し、外部に送出する光ファイバと、

を備えたことを特徴とする半導体レーザモジュール。

7. 前記第1レンズは、前記第1のストライプから出射された第1のレーザ光の光軸と前記第2のストライプから出射された第2のレーザ光の光軸とが、前記第1レンズの中心軸を挟んで略対称になるように位置決めされることを特徴とする請求の範囲第6項に記載の半導体レーザモジュール。

8. 前記偏波合成手段は、前記第1のポートから入射した第1のレーザ光と前記第2のポートから入射した第2のレーザ光のいずれか一方を常光線として前記第3のポートに伝搬させるとともに、他方を異常光線として前記第3のポートに伝搬させる複屈折素子であることを特徴とする請求の範囲第6項に記載の半導体レーザモジュール。

9. 前記常光線が光ファイバの軸線方向に伝搬するように、前記偏波合成手段の第1のポートと第2のポートが形成されている各々の面が傾斜して形成されていることを特徴とする請求の範囲第8項に記載の半導体レーザモジュール。
- 5      10. 前記常光線が光ファイバの軸線方向に伝搬するように、前記半導体レーザ素子および第1レンズは、前記軸線方向に対して所定角度傾斜して配置されることを特徴とする請求の範囲第8項に記載の半導体レーザモジュール。
- 10      11. 前記偏光回転手段および偏波合成手段は、同一のホルダ部材に固定されていることを特徴とする請求の範囲第6項に記載の半導体レーザモジュール。
- 15      12. 前記第1レンズと前記偏波合成手段との間には、第1のレーザ光および第2のレーザ光を入射し、互いの光軸を略平行にして出射するプリズムが配設されていることを特徴とする請求の範囲第6項に記載の半導体レーザモジュール。
- 19      13. 前記プリズム、前記偏光回転手段および偏波合成手段は、同一のホルダ部材に固定されていることを特徴とする請求の範囲第12項に記載の半導体レーザモジュール。
- 20      14. 前記偏波合成手段と前記光ファイバとの間に配置され、前記偏波合成手段の第3のポートから出射されるレーザ光を前記光ファイバに光結合させる第2レンズを有することを特徴とする請求の範囲第6項に記載の半導体レーザモジュール。
- 25      15. 前記第1のレーザ光および第2のレーザ光が、前記第1レンズと前記第2レンズとの間で焦点を結ぶように前記第1レンズが位置決めされていることを特徴とする請求の範囲第14項に記載の半導体レーザモジュール。
- 30      16. 所定の波長の光を半導体レーザ素子に帰還させる光反射部が設けられてい

ることを特徴とする請求の範囲第6項に記載の半導体レーザモジュール。

17. 前記光反射部は、前記光ファイバに形成されたファイバグレーティングであることを特徴とする請求の範囲第16項に記載の半導体レーザモジュール。

5

18. 前記半導体レーザ素子を冷却する冷却装置と、前記冷却装置上に固定され、前記半導体レーザ素子を載置する基台とを有し、前記第1レンズ、前記偏光回転手段および偏波合成手段は、前記基台上に固定されていることを特徴とする請求の範囲第6項に記載の半導体レーザモジュール。

10

19. 前記基台は、前記半導体レーザ素子を固定する第1の基台と、前記第1の基台上に固定され、前記第1レンズ、前記偏光回転手段および偏光合成手段を固定する第2の基台とからなることを特徴とする請求の範囲第18項に記載の半導体レーザモジュール。

15

20. 半導体基板の一部領域上に積層された第1の活性層を有し、第1のレーザ光を出射する第1のストライプと、前記半導体基板の他の領域上に積層された第2の活性層を有し、第2のレーザ光を出射する第2のストライプと、を備え、前記第1のストライプと前記第2のストライプとの中心線間距離は10～100  $\mu$ mである半導体レーザ素子と、

20

前記半導体レーザ素子から出射された前記第1のレーザ光と第2のレーザ光とが入射され、前記第1のレーザ光と第2のレーザ光との間隔を広げるように分離させる第1レンズと、

25

前記第1レンズを通過した前記第1のレーザ光と前記第2のレーザ光のいずれか一方のみが入射され、入射されたレーザ光の偏波面を所定の角度回転させる偏光回転手段と、

前記第1レンズまたは偏光回転手段からの前記第1のレーザ光が入射される第1のポートと、前記偏光回転手段または第1レンズからの前記第2のレーザ光が入射される第2のポートと、前記第1のポートから入射される第1のレーザ光と



前記第 2 ポートから入射される第 2 のレーザ光とが合波されて出射される第 3 のポートとを有する偏波合成手段と、

前記偏波合成手段の前記第 3 のポートから出射されるレーザ光を受光し、外部に送出する光ファイバと、

5       を備えた半導体レーザモジュールの製造方法において、

前記半導体レーザ素子を基台上に固定する第 1 の工程と、

前記半導体レーザ素子からレーザ光を出射した状態で、前記第 1 レンズを調芯して前記基台上に固定する第 2 の工程と、

10       前記半導体レーザ素子からレーザ光を出射した状態で、前記偏光回転手段を調芯して前記基台上に固定する第 3 の工程と、

前記半導体レーザ素子からレーザ光を出射した状態で、前記偏波合成手段を調芯して前記基台上に固定する第 4 の工程と、

前記半導体レーザ素子からレーザ光を出射した状態で、前記光ファイバを調芯して固定する第 5 の工程と、

15       を含むことを特徴とする半導体レーザモジュールの製造方法。

2 1. 前記偏光回転手段および偏波合成手段は、同一のホルダ部材に固定されており、前記ホルダ部材を調芯することによって、前記第 3 の工程と前記第 4 の工程とを同時に行うことを特徴とする請求の範囲第 2 0 項に記載の半導体レーザモジュールの製造方法。

20

2 2. 前記ホルダ部材の調芯は、

前記半導体レーザ素子の第 1 のストライプおよび第 2 のストライプの双方からレーザ光を出射させる工程と、

25       前記第 1 のストライプから出射される第 1 のレーザ光を前記偏波合成手段の第 1 のポートに入射させるとともに前記第 2 のストライプから出射される第 2 のレーザ光を前記偏波合成手段の第 2 のポートに入射させる工程と、

前記ホルダ部材を中心軸の周りに回転させて前記第 1 のポートに入射した前記第 1 のレーザ光と第 2 のポートに入射した第 2 のレーザ光とがともに第 3 のポー

トから出射されるように位置調整する工程と、

前記位置調整する工程後に前記ホルダ部材の前記中心軸周りの位置を固定する工程と、

5       を含むことを特徴とする請求の範囲第21項に記載の半導体レーザモジュールの製造方法。

23. 前記第1レンズと前記偏波合成手段との間には、第1のレーザ光および第2のレーザ光を入射し、互いの光軸を略平行にして出射するプリズムが配設され、前記プリズム、前記偏光回転手段および偏波合成手段は、同一のホルダ部材に固  
10       定されており、前記ホルダ部材を調芯することによって、前記第3の工程と前記第4の工程とを同時に行うことを特徴とする請求の範囲第20項に記載の半導体レーザモジュールの製造方法。

24. 前記ホルダ部材の調芯は、  
15       前記半導体レーザ素子の第1のストライプおよび第2のストライプの双方からレーザ光を出射させる工程と、

前記第1のストライプから出射される第1のレーザ光を前記偏波合成手段の第1のポートに入射させるとともに前記第2のストライプから出射される第2のレーザ光を前記偏波合成手段の第2のポートに入射させる工程と、

20       前記ホルダ部材を中心軸の周りに回転させて前記第1のポートに入射した前記第1のレーザ光と第2のポートに入射した第2のレーザ光とがともに第3のポートから出射されるように位置調整する工程と、

前記位置調整する工程後に前記ホルダ部材の前記中心軸周りの位置を固定する工程と、

25       を含むことを特徴とする請求の範囲第23に記載の半導体レーザモジュールの製造方法。

25. 半導体基板の一部領域上に積層された第1の活性層を有し、第1のレーザ光を出射する第1のストライプと、前記半導体基板の他の領域上に積層された第

2の活性層を有し、第2のレーザ光を出射する第2のストライプと、を備え、前記第1のストライプと前記第2のストライプとの中心線間距離は10～100 $\mu$ mである半導体レーザ素子と、

- 5 前記半導体レーザ素子から出射された前記第1のレーザ光と第2のレーザ光とが入射され、前記第1のレーザ光と第2のレーザ光との間隔を広げるように分離させる第1レンズと、

前記第1レンズを通過した前記第1のレーザ光と前記第2のレーザ光のいずれか一方のみが入射され、入射されたレーザ光の偏波面を所定の角度回転させる偏光回転手段と、

- 10 前記第1レンズまたは偏光回転手段からの前記第1のレーザ光が入射される第1のポートと、前記偏光回転手段または第1レンズからの前記第2のレーザ光が入射される第2のポートと、前記第1のポートから入射される第1のレーザ光と前記第2ポートから入射される第2のレーザ光とが合波されて出射される第3のポートとを有する偏波合成手段と、

- 15 前記偏波合成手段の前記第3のポートから出射されるレーザ光を受光し、外部に送出する光ファイバと、

を備えた半導体レーザモジュールと、

信号光が伝送される光ファイバと、

を有し、

- 20 前記半導体レーザモジュールから出射される励起光と前記光ファイバに伝送される信号光とを合波して前記信号光に利得を与えることを特徴とする光ファイバ増幅器。

## 要 約 書

- 間隔を隔てて形成された第1のストライプ及び第2のストライプを有し、第1のストライプ及び第2のストライプの端面からそれぞれ第1のレーザ光及び第2のレーザ光を出射する半導体レーザ素子と、半導体レーザ素子から出射された第1のレーザ光と第2のレーザ光との間隔を広げるように分離させる第1レンズと、第1のレーザ光の偏波面を90度回転させる半波長板と、入射された第1のレーザ光と第2のレーザ光とが合波されて出射される偏波合成部材と、偏波合成部材から出射されるレーザ光を受光し外部に送出する光ファイバとを有する。

10